


COULISSES DE LABORATOIRES

*De l'instrument à la science*

# DOSSIER DECOUVERTE

## Le papier pH

Mesurer l'acidité d'une solution

























# SOMMAIRE







# Au fil de l'histoire

## Les indicateurs colorés pour un dosage acido-basique

**1663 : les premiers indicateurs colorés**
Dès le XVII[e] siècle, Robert Boyle utilise des décoctions de plantes comme indicateurs colorés. Dans son ouvrage « Expériences sur les couleurs » il explique en 1663 comment mettre en évidence le caractère acide des solutions à l'aide de sirop de violette. Il suggère de déposer quelques gouttes de sirop sur un papier blanc, puis de déposer l'acide sur le papier : la tache de sirop passe du violet au rouge. Il donne ainsi le premier protocole expérimental de test d'acidité à l'aide d'un indicateur coloré !



*Robert Boyle*
*Crédit Google*



*Laboratoire de William Lewis*
*Crédit Google*

**1767 : la première utilisation d'un indicateur coloré pour un dosage acide-base**
C'est le chimiste anglais William Lewis qui eut l'idée d'utiliser un changement de couleur pour caractériser l'acidité d'une solution. Le premier indicateur coloré fut un extrait de tournesol. Plusieurs autres indicateurs naturels furent rapidement adoptés. On peut citer le chou rouge, l'artichaut, la rose ou encore la betterave. En effet, ces composés présentent tous la propriété de changer de couleur en fonction du pH. Mais ces composés présentent des défauts importants : leur zone de virage est étendue et peu précise, et elle dépend de la nature même du végétal en question. Un même chou rouge pourra voir ses zones de virage déplacées d'une voire deux unités de pH.

**XIX[e] siècle : l'essor de la chimie organique**
Le XIX[e] siècle voit l'essor considérable de la chimie organique et la mise au point de synthèse de nouvelles substances qui serviront d'indicateurs colorés, comme la phénolphtaléine (1871), la fluorescéine (1876), ou encore le bleu de bromothymol (1877). Ces indicateurs permettent des dosages plus précis (voir partie 2).



*Les teintes du bleu de bromothymol*
*Crédit Google*







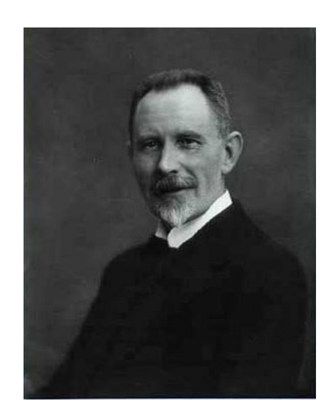
*Wilhelm Ostwald*
*Crédit Google*

**1894 : la théorie des indicateurs de pH**

La variété du comportement des indicateurs colorés vis-à-vis des différentes solutions acides et basiques est mal comprise jusqu'en 1894, quand Wilhelm Ostwald propose la première théorie des indicateurs. Ostwald comprend que l'indicateur coloré est en fait un acide ou une base faible dont la structure interne change lors de l'échange de proton* $H^+$, ce qui entraîne une variation de couleur.

**1909 : l'apparition du terme pH**

Le terme "pH", qui est l'abréviation de "potentiel Hydrogène", a été utilisé pour la première fois en 1909 par le chimiste danois Søren Peder Lauritz Sørensen. Ce chimiste danois proposa également l'échelle de mesure du degré d'acidité d'une solution de 0 à 14 , utilisée aujourd'hui et qui répond à la formule pH = log $[H_3O^+]$.



*Søren Peder Lauritz Sørensen*
*Crédit Google*

## Informations complémentaires

Dossier Eduscol sur les indicateurs de pH
http://culturesciences.chimie.ens.fr/content/les-indicateurs-de-ph-924#d0e49

Un article de la Recherche sur les acides et les bases

http://www.larecherche.fr/idees/back-to-basic/acides-bases-01-06-2008-87965

Rappels sur la réaction acido-basique

http://www.lachimie.fr/solutions/phmetrie/acide.php





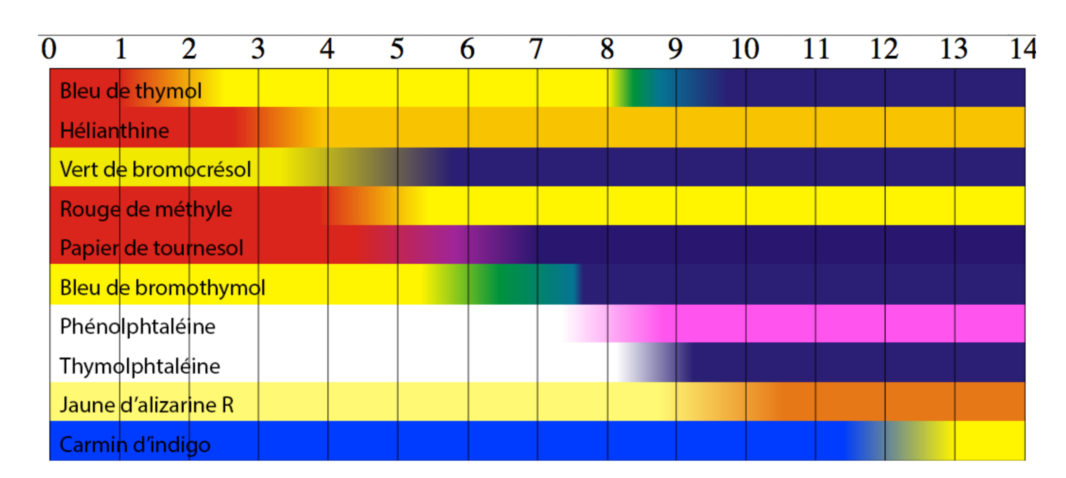
# Le papier pH, du principe à l'utilisation

## L'échelle de mesure du pH et les indicateurs colorés

| Échelle des pH | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| Acide | | | | | | | Neutre | Base | | | | | | |

L'échelle de mesure du pH est graduée de 0 à 14. Un pH de 7 correspond à un milieu neutre, c'est le pH de l'eau distillée. Plus le pH est faible, plus la solution est acide. Un pH de 1 correspond donc à un acide fort tandis qu'un pH de 13 correspond à une base forte. L'échelle du pH a la particularité d'être logarithmique, ce qui signifie qu'un pH de 5 est 10 fois plus acide qu'un pH de 6. Un pH de 4 est 10 fois plus acide qu'un pH de 5 et 100 fois plus acide qu'un pH de 6. De la même façon, lorsque le pH augment de 1 unité, la basicité (ou alcalinité) est multipliée par 10 !

Les indicateurs de pH ou indicateurs acide-base sont de substances qui ont la propriété de changer de couleur en fonction de l'acidité du milieu environnant.
La plupart du temps, ils donnent deux couleurs distinctes et, dans une zone de une à deux unités de pH nommée zone de virage, des teintes correspondant au mélange de ces deux couleurs. Les indicateurs colorés les plus souvent utilisés sont : l'hélianthine appelée aussi méthylorange, le rouge de méthyle, le bleu de bromothymol et la phénolphtaléine.




*Quelques indicateurs de pH*

Le mélange de plusieurs indicateurs colorés permet d'obtenir un indicateur universel c'est-à-dire un produit qui change graduellement de couleur en fonction du pH. On peut alors évaluer le pH d'une solution en y versant quelques gouttes de l'indicateur universel, puis en comparant la couleur prise avec une échelle de teinte réalisée à partir de solutions tampon.
Le mélange bleu de thymol - rouge de méthyle - bleu de bromothymol - phénolphtaléine est un indicateur universel courant. Il permet d'évaluer le pH d'une solution s'il est compris entre 4 et 10. Il existe d'autres mélanges permettant d'obtenir un indicateur universel. Le papier-pH est une bandelette de papier imbibé d'un indicateur universel.





## Mode d'emploi et fonctionnalités

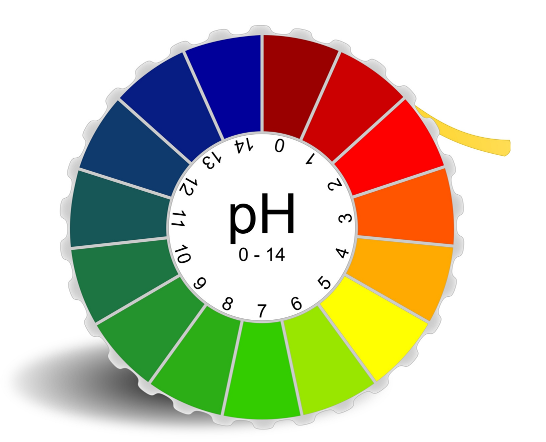
Quand on imbibe le papier pH d'une solution, il prend instantanément la couleur correspondant au pH de la solution :

- Prélever un peu de la solution à tester avec une baguette en verre
- Déposer la solution sur le papier pH
- Comparer la couleur du papier pH avec le nuancier de couleur

Ne jamais tremper le papier-pH dans la solution car elle serait polluée par les réactifs du papier.

## A propos des limites et sources d'erreur de l'instrument

Les inconvénients majeurs du papier pH sont son inexactitude de mesure due à l'étendue de la zone de virage et la subjectivité d'appréciation des couleurs par l'utilisateur. De ce fait, la précision obtenue à l'aide du papier pH est d'une unité de pH. De plus, les couleurs diffèrent suivant la marque du papier et ses constituants.




*Rouleau de papier pH*
*Crédit Fotolia*

***Le papier pH dans nos vies***
*L'une des utilisations quotidiennes du papier pH est en aquariophilie. Pour le bien-être des poissons, il faut s'assurer que le pH de l'eau soit compris entre 6 et 8 en eau douce, et entre 8,1 et 8,3 en eau de mer. De la même manière, le pH de l'eau des piscines est également surveillé. Il doit être compris entre 7 et 7,4 et peut être ajusté à l'aide de produits commerciaux habituellement appelés « pH moins » et « pH plus ».*

## Informations complémentaires :

Dossier Eduscol sur les indicateurs de pH
http://culturesciences.chimie.ens.fr/content/les-indicateurs-de-ph-924#d0e49



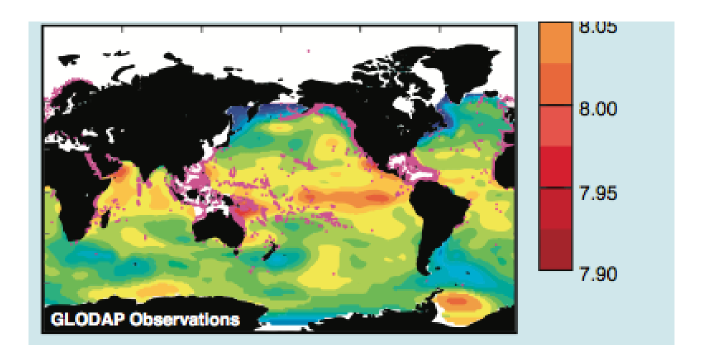


# Le papier pH au service de la Science

La mesure du pH d'une solution est pratiquée dans de nombreux domaines scientifiques: en médecine, en biologie, en chimie... en effet, la vie que ce soit chez les humains ou les animaux, exige que le liquide qui baigne les cellules des organismes ait un pH très étroit autour de 7, la neutralité. Mais les causes de variation du pH interne sont nombreuses (variations de $CO_2$ liés aux échanges respiratoires, fabrication et émission d'acide lactique par les muscles...)... Le pH du milieu externe, tel que l'océan pour les organismes marins par exemple, est également étudié et sa mesure est devenue une information essentielle dans les domaines scientifiques liés à l'environnement (biologie marine, climatologie...). En effet, l'augmentation de la concentration en gaz carbonique* dans l'atmosphère, conséquence des importantes émissions de gaz à effet de serre générées par nos activités, peut entraîner des pluies acides et une acidification des océans.

***Ne pas confondre : le papier pH et le pH-mètre***

*Il est également possible de mesurer le pH d'une solution aqueuse, par électrochimie, à l'aide d'un appareil appelé pH-mètre. Il est constitué généralement d'une électrode en verre reliée à un convertisseur numérique. Cet appareil électronique est beaucoup plus précis que le papier pH. Il indique des valeurs de pH à une décimale près.*




**Box 3.2, Figure 1 |** National Center for Atmospheric Research Community Climate System Model 3.1 (CCSM3)-modeled decadal mean pH at the sea surface centred on the years 1875 (top) and 1995 (middle). Global Ocean Data Analysis Project (GLODAP)-based pH at the sea surface, nominally for 1995 (bottom). Deep and shallow-water coral reefs are indicated with magenta dots. White areas indicate regions with no data. (After Feely et al., 2009.)

*Carte du pH de l'océan de surface, en 1995. Les zones blanches correspondent à l'absence de données. Les récifs coralliens en zones profondes et peu profondes sont indiqués en magenta. (source : GIEC 2014)*

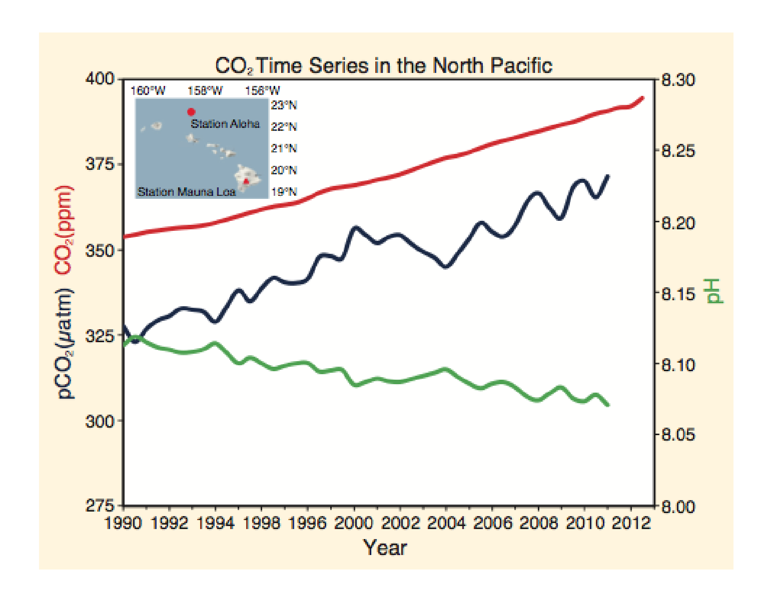
## La mesure de l'acidité et Tara

### L'acidification des océans

La teneur en gaz carbonique* de l'air a fortement augmenté, ce qui est une des causes de l'actuel réchauffement planétaire. Lorsque la composition de l'atmosphère change, cela influence également celle des océans, car il y a sans arrêt des échanges entre eux. Or le gaz carbonique se transforme en acide carbonique lorsqu'il est en contact avec l'eau. Par conséquent, la hausse de concentration de $CO_2$ dans l'atmosphère rend les océans plus acides. Le pH des océans a déjà commencé à diminuer et au rythme des émissions actuelles, le GIEC* estime que le pH diminuera de près de 0.4 unités d'ici 2100. Ceci correspond à un triplement de l'acidité moyenne des océans, ce qui serait une première depuis 20 millions d'années !








*Evolution du pH, de la concentration atmosphérique de CO2 et de la pression partielle de CO2 à la surface de l'océan, de 1990 à 2012, dans le Nord Pacifique (source : GIEC 2014)*

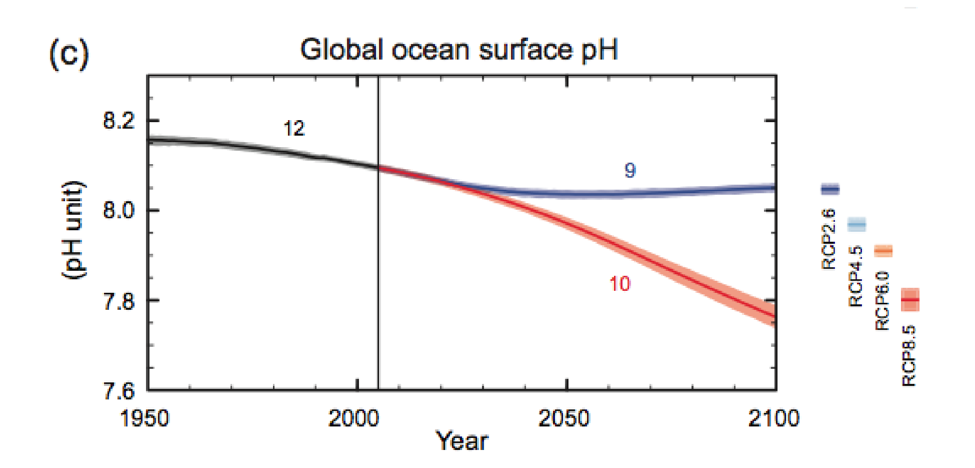



**Figure SPM.7 |** CMIP5 multi-model simulated time series from 1950 to 2100 for (a) change in global annual mean surface temperature relative to 1986–2005, (b) Northern Hemisphere September sea ice extent (5-year running mean), and (c) global mean ocean surface pH. Time series of projections and a measure of uncertainty (shading) are shown for scenarios RCP2.6 (blue) and RCP8.5 (red). Black (grey shading) is the modelled historical evolution using historical reconstructed forcings. The mean and associated uncertainties averaged over 2081–2100 are given for all RCP scenarios as colored vertical bars. The numbers of CMIP5 models used to calculate the multi-model mean is indicated. For sea ice extent (b), the projected mean and uncertainty (minimum-maximum range) of the subset of models that most closely reproduce the climatological mean state and 1979 to 2012 trend of the Arctic sea ice is given (number of models given in brackets). For completeness, the CMIP5 multi-model mean is also indicated with dotted lines. The dashed line represents nearly ice-free conditions (i.e., when sea ice extent is less than $10^6$ km² for at least five consecutive years). For further technical details see the Technical Summary Supplementary Material (Figures 6.28, 12.5, and 12.28–12.31; Figures TS.15, TS.17, and TS.20)

*Prévisions des modèles de l'évolution du pH océanique jusqu'en 2100 (source : GIEC 2014)*



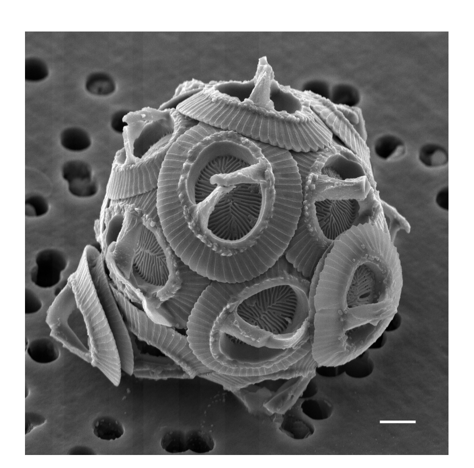


## Conséquences pour les organismes marins

Cette augmentation d'acidité dans les milieux marins est très nuisible pour les animaux marins à coquille ou squelette calcaire. En effet, lorsque l'acidité de l'eau augmente, la quantité d'ions* carbonates* présents dans l'eau, et dont ces animaux ont besoin pour construire leur squelette, diminue. Résultat : dans un océan plus acide, ils ne trouveront plus les carbonates nécessaires pour construire leur squelette !
Les coraux, le plancton et certains animaux marins tels que les gastéropodes (famille des escargots marins) ou les bivalves (famille des huîtres ou des moules) sont directement concernés par l'acidification des océans. Mais les conséquences s'en feront ressentir sur l'ensemble de la chaîne alimentaire, puisque tous ces petits animaux jouent un rôle essentiel dans l'alimentation d'autres espèces comme le saumon, le maquereau et même la baleine !
Les recherches menées par des institutions françaises en pointe sur la question de l'acidification de l'océan montrent que l'Océan Arctique, où les eaux froides absorbent davantage le gaz carbonique que les régions tropicales et tempérées, est particulièrement touché par le phénomène de l'acidification.



*Fleurs de corail (crédit : L.Mattio)*



*Coccolithophoridés*
*Crédit Google*




*Foraminiferes*
*Crédit Google*



## La mission Tara Polar Circle

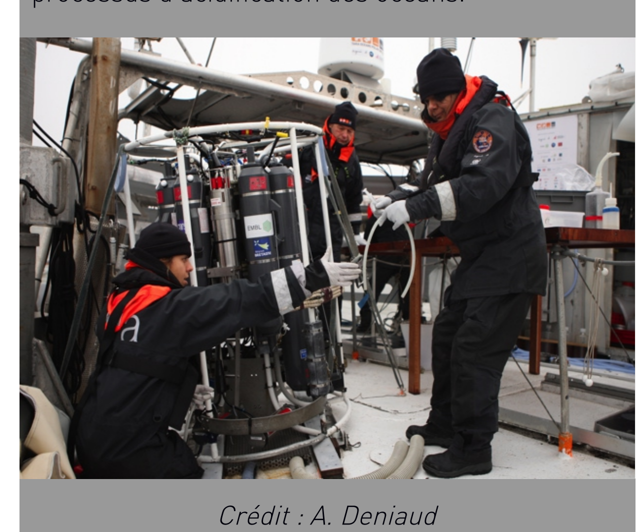
L'expédition "Tara Oceans Polar Circle", menée de mai à décembre 2013, a permis de réaliser des observations quant à l'évolution du pH de l'Océan Arctique. Cette mission qui s'inscrivait dans la continuité de Tara Oceans 2009-2012, avait principalement pour objectif de poursuivre l'effort de collecte de plancton réalisé sur tous les océans de la planète les années précédentes.
Embarqué à bord de Tara, dans le laboratoire sec, l'instrument scientifique de mesure du pH est un capteur Seafet, précis à 0,001 unité près ! Les mesures du Seafet sont complétées par des prélèvements d'eau de mer qui seront analysés en laboratoire afin d'identifier la provenance du carbone dissous dans l'eau. Deux phénomènes peuvent accentuer le taux de carbone dissous et donc l'acidification de l'océan : la fonte de la banquise, qui permet un contact direct entre l'océan et l'atmosphère, ou la fonte des glaciers continentaux qui transportent, via les rivières, le carbone du permafrost*. Les dernières découvertes révèlent une augmentation de ce type de carbone dans l'océan Arctique...





*La sonde SeaFet (crédit : Satlantic company)*

**Au cœur de l'action**
Septembre 2013 : Tara est en Arctique, en mer de Sibérie Orientale. Diana Ruiz Pino s'affaire autour de la rosette qui vient de remonter de l'océan, ses bouteilles pleines d'eau prélevée à différentes profondeurs. De retour au laboratoire, cette eau sera analysée afin de connaître son pH avec précision dans le but de mieux comprendre le processus d'acidification des océans.



*Crédit : A. Deniaud*




*Carte de l'expédition Tara Polar Circle, en 2013 (Tara Expéditions)*





Informations complémentaires :

L'Exposition de l'ADEME "Comprendre le changement climatique" (5 panneaux)
Cette exposition peut être envoyée gratuitement aux enseignants.
Pour la commander : manuela.alves-marinho@ademe.fr
http://www.mtaterre.fr/sites/default/files/files/affiches_RAC_BAT6.pdf

Le dossier de l'ADEME "Comprendre le changement climatique" sur le site M ta Terre
http://www.mtaterre.fr/le-changement-climatique.html

Le guide de l'ADEME "Le changement climatique"
Ce guide peut être envoyé gratuitement aux enseignants. Pour le commander :
manuela.alves-marinho@ademe.fr
http://ecocitoyens.ademe.fr/sites/default/files/guide_ademe_changement_climatique.pdf

Le guide de l'ADEME "Petites réponses à de grandes questions sur la planète"
Ce guide peut être envoyé gratuitement aux enseignants.
Pour le commander : manuela.alves-marinho@ademe.fr
http://www.mtaterre.fr/sites/default/files/files/Guide-ADEME-eco-jeune-12-3-1_6Mo.pdf

Le site d'information de l'ADEME à destination des collégiens et lycéens
www.mtaterre.fr

Acidification des océans
http://oceans.taraexpeditions.org/m/science/les-actualites/acidification-des-oceans-impact-sur-des-organismes-cles-de-la-faune-oceanique-epoca/

http://oceans.taraexpeditions.org/m/environnement/ocean-climat-arctique/oceans-et-carbone/

Mesures de pH pendant Tara Polar Circle, interview de Diana Ruiz-Pino
http://taraocean.blog.lemonde.fr/2013/08/16/une-station-dans-la-glace-vue-par-loceanographe-diana-ruiz-pino/

Prévisions du GIEC quant à l'évolution du pH de l'océan
http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch10s10-4-2.html





# Glossaire

**Carbonate** : le carbonate est un ion formé d'un atome de carbone et de trois atomes d'oxygène portant une double charge électrique négative. Sa formule chimique est $CO_3^{2-}$.

**Gaz carbonique** : le gaz carbonique est la forme gazeuse du dioxyde de carbone, $CO_2$. C'est un gaz à effet de serre, très connu pour son implication dans le changement climatique actuel.

**GIEC** : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat. Ils sont chargés de faire un état des lieux des connaissances sur le climat et de délivrer aux décideurs des rapports tous les 7 ans.

**Ion** : un ion est une espèce chimique électriquement chargée, ce qui signifie que les charges négatives et positives ne sont pas égales. S'il est chargé positivement (le nombre de charges positives est supérieur au nombre de charges négatives), il est appelé "cation"; s'il est chargé négativement, il est appelé "anion".

**Permafrost** : aussi appelé "pergélisol", le permafrost désigne le sol gelé en permanence. Il représente 1/5° de la surface des terres émergées du monde.

**Proton** : le noyau d'un atome est constitué de protons et de neutrons. Les protons sont chargés positivement. Le proton $H^+$ n'est pas libre, il forme avec une molécule d'eau l'ion oxonium (ou hydronium) $H_3O^+$













